

Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola

Nogueira, Kenio Batista¹; Cassiano Garcia Roque; Mônica Cristina Rezende Zuffo Borges; Maria Júlia Betiolo Troleis; Rafael Ferreira Barreto; Marcela Pacola Oliveira

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Campus Chapadão do Sul, Rodovia MS 306, Km 105, Caixa Postal 112, CEP: 79560-000, Chapadão do Sul-MS; ¹Kenio.nogueira@ufms.br

Nogueira, Kenio Batista; Cassiano Garcia Roque; Mônica Cristina Rezende Zuffo Borges; Maria Júlia Betiolo Troleis; Rafael Ferreira Barreto; Marcela Pacola Oliveira (2016) Atributos físicos do solo e matéria orgânica sob dois manejos e efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola. Rev. Fac. Agron. Vol 115 (1): 45-54

O uso do calcário e gesso agrícola e o manejo do solo podem influenciar seus atributos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do manejo, calcário e gesso agrícola sobre as propriedades físicas e Matéria Orgânica no Solo após safra de milho segundo cultivo. O experimento foi conduzido em Chapadão do Sul-MS, sendo disposto no delineamento de blocos casualizados com os fatores arranjos em parcelas subdivididas. As parcelas receberam os níveis dos fatores sistema de manejo convencional e direto e as subparcelas as aplicações de calcário e gesso agrícola (Controle, Calcário ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1}$), Gesso (2 Mg ha^{-1}), Calcário dose recomendada + Gesso ($3,563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), Calcário metade da dose recomendada + Gesso ($1,781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Calcário dobro da dose recomendada + Gesso ($7,126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2 \text{ Mg ha}^{-1}$), com quatro repetições. A densidade do solo e a resistência à penetração não foram influenciadas pelo sistema de cultivo e sistema de condicionamento do solo, após 03 anos de implantação do experimento. O sistema de manejo convencional com efeito residual da gessagem proporcionou maior valor de porosidade total ($0,545 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), macroporosidade ($0,053 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), microporosidade ($0,492 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), e matéria orgânica ($15,0 \text{ g kg}^{-1}$), na camada de 0,10-0,20 m. O sistema de semeadura direta com efeito residual da aplicação de calcário dose recomendada mais gesso agrícola proporcionou maior teor de matéria orgânica ($15,0 \text{ g kg}^{-1}$) na camada de 0,0-0,10 m.

Palavras chave: fosfogesso, compactação, plantio direto, *Zea mays* L., manejo de solo.

Nogueira, Kenio Batista; Cassiano Garcia Roque; Mônica Cristina Rezende Zuffo Borges; Maria Júlia Betiolo Troleis; Rafael Ferreira Barreto; Marcela Pacola Oliveira (2016) Physical attributes and organic matter of a soil cultivated with corn under two managements and residual effect of limestone and gypsum. Rev. Fac. Agron. Vol 115 (1): 45-54

The use of limestone and gypsum and soil management can influence its attributes. In this context, the aim of this study was to evaluate the influence of management, limestone and gypsum on soil attributes and corn yield second crop. The experiment was conducted in Chapadão do Sul- (Brazil), being arranged in a randomized block design, in split plot arranged factors. The plots received the levels of conventional management and no-tillage and the split applications of lime and gypsum (Control, Limestone (3.563 Mg ha^{-1}), Gypsum (2.0 Mg ha^{-1}), Limestone recommended dose + Gypsum ($3.563 \text{ Mg ha}^{-1} + 2.0 \text{ Mg ha}^{-1}$), Limestone half the recommended dose + Gypsum ($1.781 \text{ Mg ha}^{-1} + 2.0 \text{ Mg ha}^{-1}$) and Limestone twice the recommended dose + Gypsum ($7.126 \text{ Mg ha}^{-1} + 2.0 \text{ Mg ha}^{-1}$), with four replications. The soil bulk density and penetration resistance were not influenced by cropping systems and soil conditioning system, after 03 years of experiment deployment. The management system conventional residual effect of gypsum provided greater values of total ($0.545 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), macro- ($0.053 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), and micro- ($0.492 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) porosity, and organic matter (15.0 g kg^{-1}), in the 0.10-0.20 m layer. No-tillage with residual effect of limestone and gypsum recommended dose provided greater content of organic matter (15.0 g kg^{-1}), in the layer of 0.0 to 0.10 m.

Key words: phosphogypsum, compaction, no-tillage, *Zea mays* L., soil management.

Recibido: 08/04/2015

Aceptado: 04/04/2016

Disponibile on line: 01/07/2016

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUÇÃO

O plantio de milho segunda safra (*Zea mays* L.) na região Centro-Oeste do Brasil é feito normalmente após a colheita da soja precoce. Essa combinação de sucessão soja-milho se tornou comum, uma vez que proporciona otimização do solo, das máquinas, mão de obra e diluição dos custos fixos da propriedade em dois cultivos. Além disso, a soja precoce é colhida em uma época de mercado aquecido e com preços melhores do que os obtidos no auge do período de colheita, garantindo assim maior lucratividade aos produtores rurais (Ceccon & Staut, 2007).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, deve finalizar a safra 2013/2014 com colheita de quase 80 milhões e consumo interno próximo de 55 milhões de toneladas. Neste contexto, com uma previsão de exportação de 21 milhões de toneladas, continua sendo o segundo maior exportador do cereal. O sistema de produção de milho desenvolvido no Brasil, notadamente nas regiões que apresentam condições climáticas favoráveis, tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de semeadura: milho verão (semeadura nos meses de outubro/novembro) e segunda safra (semeadura nos meses de janeiro/fevereiro/início de março). A área cultivada com milho nessa segunda época no país no ano agrícola 2013/2014 foi cerca de 9.182,7 milhões de hectares, com uma produção estimada superior a 48 milhões de toneladas e produtividade relativa de 5.255 kg ha⁻¹, sendo a região Centro-Oeste responsável por 65,74% da produção nacional (CONAB, 2014).

Com a expansão das áreas de milho segundo cultivo surge problemas de compactação da camada superficial e subsuperficial do solo na região do cerrado do Brasil. Aumentando assim, o interesse pela busca de sistemas que possam proporcionar melhores condições físicas no perfil do solo, em semeadura direta e convencional.

Isso ocorre, pois as áreas em semeadura direta por vários anos, devido ao longo período de tempo sem revolvimento, podem apresentar impedimentos físicos e químicos para o aprofundamento do sistema radicular das culturas. Nessas condições, tem-se adotado a semeadura convencional, que consiste no preparo intensivo do solo, através do conjunto de operações de máquinas agrícolas, como a aração e gradagem, promovendo a descompactação do solo, além de redistribuir melhor os nutrientes no perfil do solo. A semeadura convencional é uma opção para melhoria do ambiente radicular, embora encontre algumas limitações, como a necessidade de agilidade na semeadura do milho segunda safra, o alto custo energético e a falta de equipamentos apropriados para realização da operação de descompactação do solo na camada inferior a 0,2 m de profundidade (Silveira et al., 2008).

A calagem tem ação limitada ao local de aplicação, não tendo efeito rápido na redução da acidez de camadas mais profundas, o que ocorre quando o material é incorporado ao solo ou com a lixiviação de carbonatos através do perfil do solo, proporcionando melhores condições dos atributos físicos e químicos, resultando em melhores produtividades (Blum et al., 2013). Enquanto o gesso agrícola (CaSO₄.H₂O) atua como

condicionador do solo apresentando alta mobilidade no perfil, capaz de disponibilizar cálcio (Ca⁺²) e enxofre (SO₄⁻²) em solução e de ser lixiviado, enriquecendo de nutrientes as camadas subsuperficiais e reduzindo a saturação por alumínio (Al⁺³) em profundidade (Caires et al., 2008).

A combinação de aplicação de gesso e calcário pode compensar o efeito reduzido de reação do calcário apenas no local de aplicação, onde o gesso atua nas camadas subsuperficiais, sem que ocorra a necessidade de incorporação prévia ou revolvimento (Caires et al., 2003). Vale destacar, que o gesso agrícola apresenta efeito residual no solo, sobretudo em solos argilosos (Caires et al., 2011), influenciado pela variação climática tanto regional quanto temporal, dose aplicada, período entre a aplicação e a análise do solo (Pauletti et al., 2014).

Um dos fatores mais limitantes à produção agrícola na região dos Cerrados é a alta probabilidade da ocorrência de veranicos durante a estação das chuvas, associada à baixa capacidade de retenção de umidade e ao limitado crescimento do sistema radicular de várias culturas impostas pela deficiência de cálcio, toxidez causada pelo alumínio no subsolo e compactação (Lopes, 1994). Assim, a aplicação e incorporação de calcário visando à correção da acidez na camada arável e a aplicação superficial de gesso agrícola com o objetivo de construir a fertilidade em profundidade nos solos do Cerrado, podem aumentar o volume de solo explorado pelas raízes e conseqüentemente, proporcionar maior absorção de água e nutrientes pelas plantas, maior produção de fitomassa e maior tolerância das plantas a seca.

Além de o gesso agrícola favorecer os atributos químicos do solo como fornecimento de cálcio, enxofre e redução da saturação por alumínio, esse condicionador de solo pode exercer influência nos atributos físicos do solo, como a densidade, porosidade total e resistência à penetração do solo (Raij, 2008).

No sistema de plantio direto, a aplicação de 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola proporcionou incremento da densidade do solo e diminuição da porosidade total, enquanto, no sistema de preparo convencional, o uso de gesso reduziu a densidade do solo e aumentou a porosidade total de um Latossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa (Costa et al., 2007).

O efeito residual da gessagem nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto foram avaliados por Müller et al. (2012). Após 50 meses da aplicação superficial de gesso agrícola, a resistência à penetração (Rp) não foi afetada pelo efeito residual da gessagem na camada superficial, porém, na camada subsuperficial do solo ocorreu aumento da Rp. A densidade do solo diminuiu e a porosidade total aumentou com a gessagem até 0,15 m de profundidade. A gessagem diminuiu a macroporosidade e aumentou a microporosidade na camada superficial.

Portanto, a identificação de alternativas que possibilitem a melhoria dos atributos físicos do solo em profundidade no sistema de plantio convencional e semeadura direta, partindo da calagem e gessagem, podem viabilizar a permanência, a expansão e o sucesso destes sistemas na agricultura desenvolvida nos solos do Cerrado.

É importante destacar a carência de trabalhos que

avaliem o efeito residual da aplicação isolada e conjunta de calcário incorporado e gesso superficial, sob sistema de semeadura direta e convencional, nos atributos físicos do solo. Assim, o trabalho objetiva avaliar o efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola nos atributos físicos e matéria orgânica no perfil do solo no sistema de manejo convencional e direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Município de Chapadão do Sul, Estado de Mato Grosso do Sul, sendo as coordenadas geográficas 18°46'13,4" S e 52°37'19,8" W e altitude de 819 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estações bem definidas, chuvosa no verão e seca no inverno, apresenta temperatura média anual variando de 13°C a 28°C, precipitação média anual de 1.850 mm e umidade relativa média anual de 64,8% (Castro et al., 2012).

A preparação da área experimental iniciou-se em 10 de outubro de 2011 com a aplicação e incorporação de calcário em área total, sendo a profundidade de trabalho do escarificador de 0,25 m. Após uma semana, foi realizada aplicação superficial de gesso agrícola em área total, seguida de gradagem no solo, tanto no sistema de manejo convencional (SMC) quanto no sistema de semeadura direta (SSD), antes da semeadura da primeira sucessão soja/milho. No condicionamento químico do solo, utilizou-se calcário dolomítico com 23,3% de CaO, 17,5% de MgO e 75% de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) e gesso agrícola com 18,63% de cálcio e 15,70% de enxofre. A dose de calcário adotada foi para elevar a saturação por bases para 74% na camada de 0,0-0,20 m. As recomendações para a calagem e gessagem seguiram as recomendações de Sousa & Lobato (2004).

Os critérios adotados para recomendação do gesso agrícola são saturação por alumínio (m) maior que 20% ou o teor de cálcio menor que 0,5 cmol_c dm⁻³ na camada de 0,20-0,40 m de profundidade. A quantidade de gesso agrícola a ser aplicada ao solo pode ser determinada em função do teor de argila das camadas inferiores, pela fórmula: Dose de gesso (kg ha⁻¹) = 50 x teor de argila (%) (Sousa & Lbato, 2004).

É importante destacar que a área experimental no passado foi utilizada como lavoura comercial com sistema de semeadura direta e atualmente nos últimos três anos ocupada com a cultura da soja no verão e o milho na segunda safra. No histórico da área constam adubações com fosfato natural reativo. Na Tabela 1 consta a análise química da área experimental antes da instalação do experimento, com amostras retiradas na profundidade de 0,0-0,20 e 0,20-0,40 m.

A caracterização da textura foi realizada pelo método do densímetro, conforme EMBRAPA (2009). O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa (EMBRAPA, 2013). Na Tabela 2 encontra-se a caracterização granulométrica do solo da área experimental.

O milho segunda safra foi cultivado no sistema de

semeadura direta (SSD) e sistema de manejo convencional (SMC). O SMC consistiu do preparo do solo antes da instalação da cultura, realizado anualmente sempre com o uso de grade intermediária com 18 discos de 28 polegadas para o preparo primário e de grade niveladora com 28 discos de 20 polegadas para o preparo secundário. A semeadura do milho foi de forma mecanizada utilizando uma semeadora/adubadora e ocorreu no dia 20 de fevereiro de 2014. O híbrido utilizado foi o CD 3715PRO de ciclo tardio. A adubação de manutenção foi realizada com uma aplicação na linha de semeadura de 20 kg ha⁻¹ de Nitrogênio, 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 42 kg ha⁻¹ K₂O. Na adubação de cobertura foram aplicados 25 kg ha⁻¹ de Nitrogênio e 60 kg ha⁻¹ K₂O no dia 07 de março de 2014, onde a cultura encontrava-se no estágio fenológico V2 (plântulas com 2 folhas totalmente desenvolvidas) sendo realizada a lanço, manualmente, de forma homogênea e sem incorporação.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, arranjado em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições distribuídas em parcelas de 5 x 5 m, sendo a parcela útil constituída de 3 linhas centrais de 3 metros de comprimento. Consideraram-se como parcelas os dois sistemas de manejo do solo (SSD e SMC) e como subparcelas os sistemas de condicionamento do solo (uma aplicação), com os seguintes tratamentos: Controle, Calcário (3,563 Mg ha⁻¹), Gesso (2 Mg ha⁻¹), Calcário dose recomendada + Gesso (3,563 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), Calcário metade da dose recomendada + Gesso (1,781 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹) e Calcário dobro da dose recomendada + Gesso (7,126 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹).

As amostras foram coletadas aos 30 meses após a aplicação do calcário e do gesso, nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m de profundidade, na área útil de cada subparcela. Cada amostra foi composta por quatro amostras simples nas três camadas avaliadas, coletadas sempre na entrelinha da cultura do milho segunda safra. As amostras indeformadas para determinação das análises físicas foram retiradas em anel de aço de Kopecky e as amostras para determinação de matéria orgânica foram coletadas com a utilização de trado tipo sonda.

A precipitação pluvial anual ocorrida desde a instalação do experimento em 2011 até a realização de cada uma das amostragens em 2014 foi de 1.544, 1.832, 1.746 e 1.660 mm, respectivamente.

A densidade do solo foi determinada através do método do anel volumétrico. A porosidade total (Pt), pela percentagem de saturação por água do solo, a microporosidade (Mi) e a macroporosidade do solo (Ma) foram determinadas pela mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna d'água (EMBRAPA, 2009).

O teor de matéria orgânica do solo (MOS) foi determinado pela oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) em meio ácido e o excesso de dicromato foi titulado com (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ (EMBRAPA, 2009).

Para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (RP), utilizou-se o penetrômetro eletrônico digital (PenetroLOG) da marca Falker, sendo os dados de RP classificados (a cada 0,10 m) até 0,30 m de profundidade e apresentados em Megapascal (MPa). Fizeram-se, aleatoriamente, quatro amostragens em

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental em duas profundidades de amostragem realizada antes da instalação do experimento. Chapadão do Sul – MS – 2011. 1: Acidez Potencial; 2: Capacidade de Troca Catiônica; 3: Soma de Bases; 4: Capacidade de troca catiônica efetiva; 5: Saturação por Alumínio; 6: Saturação por Bases; 7: Matéria Orgânica.

Prof. m	pH (CaCl ₂)	P -- mg dm ⁻³ --	K --	Ca	Mg	H+Al ¹ cmol dm ⁻³	CTC ²	Al	SB ³	t ⁴	M ⁵ %	V ⁶ %	MO ⁷ g kg ⁻¹
0,0-0,2	4,5	11,1	109,48	2,7	1,0	5,0	9,0	0,07	3,98	4,05	1,7	44,3	37,7
0,2-0,4	4,8	3,6	74,29	1,7	0,6	5,5	8,0	0,14	2,49	2,63	5,3	31,2	24,6

Tabela 2. Caracterização granulométrica do solo da área experimental em diferentes profundidades. Chapadão do Sul – MS – 2011.

Frações do Solo (g kg ⁻¹)	Profundidade (m)		
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
Argila	400,40	400,40	400,40
Silte	99,60	99,60	95,20
Areia	500,00	500,00	504,40

cada parcela experimental. Foi mensurada a umidade do solo nas mesmas profundidades no mesmo dia do teste de resistência à penetração.

Os dados foram avaliados pelo teste de Tukey para comparação de médias, com desdobramento das interações significativas, para tal ação utilizou-se para análise estatística o software Assistat (Silva & Azevedo, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola no solo para as variáveis resistência à penetração (Rp) e densidade do solo (Ds) nas três camadas avaliadas (0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) (Tabela 3). Estes resultados concordam com Pessoni, (2012) que após 20 meses da aplicação isolada ou combinada de calcário e gesso agrícola não verificou diferenças significativas na densidade do solo (Ds) na camada de 0,0 a 0,40 m de profundidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistema plantio direto. Resultados que não corroboram com este trabalho foram encontrados por Müller et al., (2012), verificando os efeitos da aplicação superficial de gesso agrícola na qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. Os autores observaram incrementos lineares na Rp nas camadas de 0,075-0,15 e 0,15-0,30 m e diminuição da Ds na camada 0,075-0,15 m. Os autores justificam tal fato pelo aumento do teor de cálcio no subsolo devido à aplicação de gesso, o que aumenta as forças de agregação no solo, propiciando a formação de agregados maiores. Conforme Misra et al. (1986) o aumento do tamanho do agregado aumenta a força necessária para penetração da raiz no solo, de modo que a Rp medida pelo penetrômetro também aumenta com a gessagem. A explicação para diminuição da Ds pela gessagem está no fato do gesso aumentar o tamanho e a porosidade entre os agregados do solo (Misra et al., 1986) uma vez que o gesso age como agregante pelo fornecimento de

cátions que atuam na neutralização das cargas negativas (Rosa Júnior et al., 2001). A calagem pode potencializar este fenômeno, em razão do aumento do pH do solo e da concentração dos íons Ca²⁺ e Mg²⁺ na solução do mesmo, promovendo maior dissolução dos grupos fenólicos e carboxílicos da matéria orgânica. A ação flocculante da calagem é ainda mais importante em solos com predomínio de óxidos de ferro e de alumínio, devido ao aumento da concentração de cargas negativas promovido pela reação do calcário no solo (Castro Filho & Logan, 1991).

De maneira semelhante ao ocorrido com a densidade do solo e resistência à penetração, também não houve efeito residual da aplicação de calcário e gesso agrícola no solo para a variável porosidade total, macroporosidade e microporosidade, tanto na camada de 0,0 a 0,10 m quanto na camada de 0,20 a 0,30 m (Tabela 3). Estes resultados são reflexos da ausência de respostas na Ds e Rp nestas camadas de solo no presente trabalho. Já no trabalho de Müller et al., (2012) houve aumento linear da porosidade total em função das doses de gesso na camada de 0,075-0,15 m, devido à diminuição da Ds nesta camada de solo.

Quando se compara os valores de porosidade total, em função dos sistemas de manejo de solo estudados, na camada de 0,00 a 0,10 m (Tabela 4), pode-se observar que o sistema de manejo convencional (SMC) apresentou maior porosidade total em relação ao sistema de semeadura direta (SSD) (p<0,05). Possivelmente, ocorreu efeito da maior mobilização superficial do solo pelo arado de disco. Os resultados deste estudo concordam com os da maioria dos trabalhos que mencionam menor porosidade total em sistema de semeadura direta (SSD) na camada superficial (Silveira et al., 2008; Silveira Neto et al., 2006).

Embora o sistema de semeadura direta tenha apresentado menor porosidade total, em relação ao SMC, tal condição, tem ocorrência apenas nos primeiros anos, deixando de existir com o passar do tempo, pois a deposição frequente de resíduos

orgânicos na camada superficial do solo promove aumento da atividade biológica e, consequentemente, tal atividade se encarrega de melhorar as condições físicas do solo (Corsini & Ferraud, 1999). Como o presente estudo foi realizado em área sob SSD implantado há três anos, o acúmulo de resíduos orgânicos ainda não foi suficiente para aumentar a porosidade total do solo.

A porosidade total ($p < 0,01$), macroporosidade ($p < 0,05$) e a microporosidade ($p < 0,01$) do solo foram influenciadas significativamente pela interação, forma de manejo do solo e aplicação de calcário e gesso agrícola na profundidade de 0,10-0,20 m de solo (Tabela 3). A microporosidade e a porosidade total nesta camada de solo foram as variáveis mais afetadas pela interação sistema de manejo e sistema de condicionamento químico do solo, o que foi constatado pelos maiores valores de F, 44,03 e 43,04, respectivamente (Tabela 3).

A porosidade total do solo é a soma dos macroporos e microporos, de forma que o aumento de um reduzirá a porcentagem do outro (Wendling et al., 2012). No caso do solo do trabalho em questão, os resultados evidenciam que a porosidade desse solo é constituída predominantemente por microporos. Nesse sentido,

valores altos de microporos são justificados pela textura argilosa do solo do presente estudo (Tabela 2). As partículas de solos argilosos tendem a se arranjar de forma a estabelecerem um contato face a face, gerando uma estrutura mais adensada, na qual as partículas individuais de argila ocupam (bloqueiam) os espaços dos poros formados pelos agregados, fazendo com que predominem no solo os microporos (Santos et al., 2013).

O sistema de manejo convencional com efeito residual da gessagem proporcionou maiores valores para os atributos físicos porosidade total, macroporosidade e microporosidade em relação ao sistema de semeadura direta na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 5). A explicação para tal fato é atribuída ao efeito condicionador do gesso agrícola no solo. Como a gessagem não aumenta o pH e a capacidade de troca de cátions (Couto et al., 1979; Pavan et al., 1984; Rosa Junior et al., 1994; Dontsova & Norton, 2002), devido ao fornecimento de cátions que neutralizam parte das cargas negativas, o gesso proporciona aproximação do ponto de carga zero (PCZ) ao pH (Rosa Junior et al., 2006; Serafim et al., 2012). A máxima aglomeração de partículas ocorre em valores de pH onde o balanço de cargas é nulo, ponto de carga zero líquida igual ao pH

Tabela 3. Quadrados Médios da Análise de variância para Matéria Orgânica do Solo (MOS), Porosidade Total (PT), Macroporosidade (Ma), Microporosidade (Mi), Densidade do Solo (Ds) e Resistência à Penetração (Rp) em função dos sistemas de manejo e sistemas de condicionamento do solo nas camadas de 0,0-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. \1
Fonte de Variação: SM: sistema de manejo do solo; SC: sistema de condicionamento do solo; SMxSC: Interação entre sistema de manejo x sistema de condicionamento do solo; ResSM: resíduo sistema de manejo do solo; ResSC: resíduo sistema de condicionamento do solo; CVSM: coeficiente de variação de sistema de manejo do solo (%) e CVSC: coeficiente de variação de sistema de condicionamento do solo (%). ns, *, **: Não significativo e significativo respectivamente a 5 e 1% pelo teste F. Obs: Os dados de macroporosidade nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m foram transformados utilizando \sqrt{x} . Os dados de matéria orgânica e macroporosidade na camada de 0,20-0,30 m foram transformados utilizando \sqrt{x} .

FV ¹	MOS	PT	Ma	Mi	Ds	Rp
Camada 0,0-0,10 m						
SM	17,21 ^{ns}	364,59 [*]	0,282 ^{ns}	289,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,006 ^{ns}
SC	16,16 ^{***}	33,41 [*]	0,129 ^{ns}	34,33 [*]	0,01 ^{ns}	0,014 ^{ns}
SMxSC	3,57 ^{***}	18,67 ^{ns}	0,346 ^{ns}	17,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,003 ^{ns}
ResSM	2,63	34,85	0,071	32,69	0,03	0,020
ResSC	0,58	11,89	0,083	12,47	0,09	0,023
CVSM	13,08	12,19	15,12	12,65	12,87	20,33
CVSC	6,17	7,12	16,36	7,81	6,67	22,11
Camada 0,10-0,20 m						
SM	0,58 ^{ns}	192,3 ^{***}	1,654 ^{***}	92,49 ^{***}	0,04 ^{ns}	0,300 ^{ns}
SC	4,78 [*]	25,20 ^{***}	0,142 ^{ns}	18,79 ^{***}	0,004 ^{ns}	0,106 ^{ns}
SMxSC	18,18 ^{***}	43,91 ^{***}	0,213 [*]	36,11 ^{***}	0,003 ^{ns}	0,110 ^{ns}
ResSM	0,42	1,49	0,158	0,75	0,03	0,167
ResSC	1,42	1,02	0,073	0,82	0,008	0,116
CVSM	5,52	2,65	23,12	2,02	12,41	21,89
CVSC	10,11	2,20	15,71	2,11	6,27	18,28
Camada 0,20-0,30 m						
SM	0,030 ^{ns}	9,55 ^{ns}	0,006 ^{ns}	19,76 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,375 ^{ns}
SC	0,205 ^{ns}	12,82 ^{ns}	0,057 ^{ns}	11,67 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,115 ^{ns}
SMxSC	0,107 ^{ns}	9,69 ^{ns}	0,03 ^{ns}	15,18 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,238 ^{ns}
ResSM	0,438	9,28	0,05	7,07	0,02	0,094
ResSC	0,154	16,04	0,03	16,84	0,007	0,184
CVSM	20,88	6,20	27,60	5,79	11,03	13,72
CVSC	12,41	8,16	21,46	8,93	6,19	19,12

(Parks & Bruyn, 1962) e quando as partículas se organizam em agregados, há a criação de poros como consequência da estruturação do solo (Reinert & Reichert, 2006).

Os valores muito baixos de macroporos podem ser explicados pela transformação de macroporos em microporos em virtude da compactação, conforme Silva et al. (1986). Também pode ser devido ao aumento na agregação do solo promovida pela gessagem, promovendo à transformação dos macroporos em microporos. No trabalho de Müller et al., (2012) o gesso agrícola diminuiu a macroporosidade do solo na camada 0,0-0,075 m e aumentou a microporosidade nesta camada, devido parte dos macroporos serem transformados em microporos pela ação floculante do gesso, uma vez que a microporosidade correspondeu aos poros intra-agregados. Segundo Othmer et al (1991) isso é devido ao incremento na agregação do solo promovido pelo gesso, devido à ação floculante proporcionada pelo cálcio deste insumo, uma vez que os microporos são fortemente influenciados pela agregação e pouco influenciados por alterações na Ds provocadas pelo tráfego de máquinas e equipamentos (Silva & Kay, 1997).

Desta forma, uma vez que os microporos retêm água disponível para as plantas (Brady & Weil, 2008), o efeito do gesso agrícola de aumentar a microporosidade na camada arável, onde nutrientes estão concentrados em solos sob SMC e SSD (Cassol et al., 2002), pode aumentar a disponibilidade de água e nutrientes para as culturas. Como também, o gesso agrícola aumenta a porosidade total e macroporosidade nesta camada de solo, o gesso pode favorecer a

distribuição de raízes em maior profundidade no perfil do solo, resultando em uma melhor absorção de nutrientes e água para o milho segunda safra (safrinha). Os menores valores de porosidade total, macroporosidade e microporosidade no sistema de semeadura direta em relação ao sistema de manejo convencional para o tratamento gesso agrícola (2 Mg ha⁻¹), conforme (Tabela 5), pode ser em função da neutralização parcial de íons alumínio pelo sulfato do gesso agrícola, fato que pode nos Latossolos, promover a dispersão de agregados já existentes (Rosa Junior et al., 1994). A neutralização de íons alumínio pela aplicação de gesso poderia ser mediante a troca de hidroxilas (OH⁻) pelo sulfato (SO₄²⁻) com a formação de estruturas hidroxiladas de alumínio (Al), mecanismo chamado de "autocalagem" (Reeve & Sumner, 1972). Pode também ter ocorrido precipitação de Al com a formação de minerais (Adams & Rawayfih, 1977). Outra possibilidade seria a lixiviação de Al acompanhando o gesso, o que pode ser, em parte, favorecida pela formação, principalmente, de pares iônicos ou complexos AlSO₄⁺ (Pavan et al., 1984). Esses resultados corroboram com Costa et al. (2007), que estudando os efeitos do gesso agrícola na porosidade total de um Latossolo Vermelho distroférrico cultivado com soja no plantio convencional e direto, verificaram que adição de 2 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola causou redução da porosidade total no plantio direto e aumento no plantio convencional.

Os menores valores de macroporosidade nos tratamentos que receberam calcário no SMC na camada de 0,10-0,20 m (Tabela 5) sugerem que as alterações causadas pela calagem podem favorecer a

Tabela 4. Comparação das médias de resistência à penetração (Rp), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e matéria orgânica do solo (MOS) em função do sistema de manejo e camada avaliada. Chapadão do Sul – MS – 2014. Médias seguidas de letras iguais minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. SMC^x: Sistema de manejo convencional; SSD^y: Sistema de semeadura direta, CV^z: Coeficiente de Variação (%).

Profundidade (m)	SMC ^x	SSD ^y	CV (%) ^z
Rp (MPa)			
0,00-0,10	0,49a	0,51a	20,33
0,10-0,20	1,78a	1,94a	21,89
0,20-0,30	2,15a	2,33a	13,72
Ds (Mg m ⁻³)			
0,00-0,10	1,39a	1,46a	12,87
0,10-0,20	1,44a	1,50a	12,41
0,20-0,30	1,42a	1,40a	11,03
PT (m ³ m ⁻³)			
0,00-0,10	0,51a	0,45b	12,19
0,20-0,30	0,48a	0,49a	6,20
Ma (m ³ m ⁻³)			
0,0-0,10	0,03a	0,02a	29,77
0,20-0,30	0,03a	0,02a	27,60
Mi (m ³ m ⁻³)			
0,00-0,10	0,47a	0,42a	12,65
0,20-0,30	0,45a	0,46a	5,79
MOS (g kg ⁻¹)			
0,20-0,30	10,3a	10,1a	20,88

Tabela 5. Desdobramento da interação sistema de manejo x sistemas de condicionamento químico do solo obtido para a avaliação de matéria orgânica do solo (MOS) na profundidade (0,0-0,10 e 0,10-0,20 m), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) na camada de 0,10-0,20 m. Chapadão do Sul – MS – 2014. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%. SMC^x: Sistema de Manejo Convencional, SSD^y: Sistema de Semeadura Direta, 1¹: Controle, 2²: Calcário dobro da dose recomendada + Gesso (7,126 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), 3³: Calcário metade da dose recomendada + Gesso (1,781 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), 4⁴: Calcário dose recomendada + Gesso (3,563 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹), 5⁵: Gesso (2 Mg ha⁻¹) e 6⁶: Calcário (3,563 Mg ha⁻¹), C.V⁷: Coeficiente de Variação (%).

Sistema de Cultivo	1 ¹	2 ²	3 ³	4 ⁴	5 ⁵	6 ⁶	C.V ⁷
MOS (g Kg ⁻¹) 0,00- 0,10m							
SMC ^x	14,4aA	10,8aCD	10,1aD	12,7bB	11,8aBC	10,9bCD	
SSD ^y	13,8aAB	11,0aC	11,5aC	15,0aA	12,5aBC	13,9aAB	6,17
MOS (g Kg ⁻¹) 0,10- 0,20m							
SMC	11,9aB	9,0bC	10,6aBC	13,0aAB	15,0aA	11,9aB	
SSD	10,6aB	14,1aA	11,8aAB	11,0bB	11,5bB	11,0aB	10,11
Pt (m ³ m ⁻³) 0,10- 0,20m							
SMC	0,453bC	0,488aB	0,456aC	0,492aB	0,545aA	0,451aC	
SSD	0,480aA	0,441bB	0,437bB	0,424bB	0,435bB	0,427bB	2,20
Ma (m ³ m ⁻³) 0,10- 0,20m							
SMC	0,033aB	0,041aAB	0,033aB	0,031aB	0,053aA	0,030aB	
SSD	0,022aA	0,028aA	0,016bA	0,028aA	0,021bA	0,032aA	28,91
Mi (m ³ m ⁻³) 0,10- 0,20m							
SMC	0,420bC	0,447aB	0,422aC	0,461aB	0,492aA	0,421aC	
SSD	0,458aA	0,412bBC	0,421aB	0,396bC	0,414bBC	0,395bC	2,17

redução de macroporos no solo. A calagem diminui a floculação e aumenta o conteúdo de argila dispersa em água do solo, provocando desestabilização dos agregados. Na região dos cerrados predominam Latossolos com elevada contribuição de óxidos de ferro e alumínio. Essa composição mineralógica favorece a dispersão de agregados quando da adição de ânions, principalmente, os carbonatos resultantes da dissolução do calcário (Goedert, 1987). Os carbonatos e os fosfatos atuam como neutralizadores do efeito floculante dos cátions Al³⁺ e H⁺, com o consequente aumento do pH e das cargas negativas de óxidos de ferro e alumínio e da caulinita (Morelli & Ferreira, 1987). Estudos recentes (Bertollo, 2014; Castro et al., 2011; Castro, 2012) apontam que a calagem resulta na melhoria do sistema poroso do solo, com aumentos nos níveis de macroporos, o que não foi verificado no presente estudo.

A literatura preconiza como sendo o solo ideal aquele que apresente valores de 0,06 a 0,16 m³ m⁻³ para macroporosidade, de até 0,33 m³ m⁻³ para microporosidade e aproximadamente 0,50 m³ m⁻³ para porosidade total do solo (Vomocil & Flocker, 1961; Hillel, 1970; Baver et al., 1972; Kiehl, 1979; Gupta & Allmaras, 1987; Ribeiro et al., 2007). Com base na literatura, os resultados permitem inferir que a macroporosidade está abaixo do ideal e a microporosidade apresenta-se com valores mais

elevados do que os preconizados como ideais para o desenvolvimento das culturas, conforme visto anteriormente. Os diferentes sistemas de cultivo e uso do solo provocam alterações nos atributos físicos, e a consequência dessas alterações é refletida em menores valores de macroporosidade e maiores de microporosidade (Klein & Libardi, 2002).

Dessa forma, o solo do presente estudo por apresentar valores baixos de macroporos e alto de microporos, necessita de práticas de manejo que aumentem a macroporosidade e reduza a microporosidade visando melhorar a aeração do solo.

Para o atributo do solo matéria orgânica, não houve interação significativa entre sistemas de manejo e efeito residual de calcário e gesso agrícola na camada 0,20-0,30 m (Tabela 3).

A variação dos teores da matéria orgânica do solo (MOS), em função dos sistemas de cultivo e sistemas de condicionamento do solo nas camadas de 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m são apresentadas na (Tabela 5), sendo influenciada significativamente (p<0,01) pela interação supracitada na profundidade de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 3).

Na camada de 0,00-0,10 m maiores valores de MOS foram no SSD quando se utilizou calcário dose recomendada + gesso (3,563 Mg ha⁻¹ + 2 Mg ha⁻¹) e calcário (3,563 Mg ha⁻¹), Tabela 5. O maior teor de MOS na superfície do solo foi resultante da ausência de

mobilização do solo no SSD, que ocasiona a deposição e o acúmulo dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo. Além disso, à calagem provavelmente proporcionou maior produção de fitomassa por área, devido a melhorias nas condições edáficas e, principalmente, em razão da neutralização do Al^{3+} (Ridley et al., 1990; Hati et al., 2008).

O tratamento controle no sistema de manejo convencional apresentou maior teor de MOS na camada de 0,0-0,10 m, uma vez que a aplicação de gesso agrícola no sistema plantio direto reduz a matéria orgânica do solo (Souza et al., 2012). Este fato pode ser devido ação do gesso no solo e, consequentemente, na atividade microbiana, pois ao lixiviar no perfil do solo o gesso favorece o aumento de teores de cálcio e redução dos teores de alumínio, promovendo maior aprofundamento das raízes, as quais se distribuem melhor no perfil do solo propiciando a mineralização mais profunda e acelerada da matéria orgânica (Souza et al., 2012).

Os maiores valores de MOS na camada de 0,10-0,20 m foram obtidos no sistema de SMC quando se utilizou 2 $Mg\ ha^{-1}$ de gesso (aumento de 20,66% em relação ao controle) e calcário dose recomendada + gesso (3,563 $Mg\ ha^{-1}$ + 2 $Mg\ ha^{-1}$), Tabela 5. O maior teor de MOS no SMC para os tratamentos supracitados na camada de 0,10-0,20 m pode ter ocorrido também pela ação de agregação provocada pelo gesso nessa camada, o que melhora as condições para o desenvolvimento microbiano, proporcionando incremento na MOS decorrente da biomassa microbiana. Isso corrobora o relatado de Rosa Junior (1991). Dessa forma, o uso de Gesso + calcário no SMC aliado ao maior teor de matéria orgânica e argila no subsolo favorecem a proteção física da MOS em formas estáveis e humificadas, possibilitando assim maior acúmulo e menores perdas de nitrogênio (Rosa Junior, 1991).

CONCLUSÕES

No sistema de manejo convencional, a aplicação de gesso agrícola proporcionou maior valor de porosidade total, macroporosidade, microporosidade e matéria orgânica na camada de 0,10-0,20 m.

O efeito residual da aplicação de calcário dose recomendada mais gesso agrícola na semeadura direta proporcionou maior teor de matéria orgânica na camada de 0,0-0,10 m.

O efeito residual da aplicação de calcário e gesso no solo não influenciou os atributos físicos resistência à penetração e densidade do solo em nenhuma das camadas avaliadas.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, F. & Z. Rawayfih.** 1977. Basalumite and alumite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. *Soil Science Society America Journal*, 41: 686-692.
- Baver, L.D., W.H. Gardner & W.R. Gardner.** 1972. Soil structure: evaluation and agricultural significance. In: **BAVER, L.D. GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R.** Soil physics. 4. Ed. New York: J. Wiley, pp: 178-223.

Bertollo, A.M. 2014. Propriedades físicas de um Latossolo após calagem, gessagem em manejos de solo. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS - FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, RS. Disponível em:

http://coral.ufsm.br/ppgaaa/images/Altamir_Mateus_Bertollo.pdf. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.

Blum, S.C., E.F. Caires & L.R.F. Alleoni. 2013. Lime and phosphogypsum application and sulfate retention in subtropical soils under no-till system. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13: 279-300. Disponível em: <http://www.scielo.cl/pdf/jsspn/v13n2/aop2413.pdf>. Acesso em 03 de agosto de 2014.

Brady, N.C. & R.R. Weil. 2008. The nature and properties of soils. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall.

Caires, E.F., J. Blum, G. Barth, F.J. Garbuio & M.T. Kusman. 2003. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27: 275-286. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16229.pdf>. Acesso em 08 de outubro de 2014.

Caires, E.F., F.J. Garbuio, S. Churka, G. Barth & J.C.L. Corrêa. 2008. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield. *European Journal of Agronomy*, 28: 57-64. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.002>. Acesso em 28 de julho de 2014.

Caires, E.F., H.A.W. Joris & S.C. Blum. 2011. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. *Soil Use and Management*, 27:45-53. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x/pdf>. Acesso em 10 de julho de 2014.

Cassol, E.A., R. Levien, I. Anghinoni & M.P. Badelucci. 2002. Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 26: 705-712. Disponível em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n3a15.pdf>. Acesso em 10 de novembro de 2014.

Castro Filho, C. & T.J. Logan. 1991. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 55, p.1407-1413.

Castro, G.S.A. 2012. Atributos do solo decorrentes dos sistemas de produção e da aplicação superficial de corretivos. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP, Botucatu. 155 p. Disponível em:

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99938/castro_gsa_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 10 de outubro de 2014.

Castro, G.S.A., J.C. Calonego & C.A.C. Crusciol. 2011. Propriedades físicas do solo em sistemas de rotação de culturas conforme o uso de corretivos da acidez. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1690-1698. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011001200015. Acesso em 10 de outubro de 2014.

Castro, M.A., F.F. Cunha, S.F. Lima, V.B.P. Neto, A.P. Leite & F.F. Magalhães. 2012. Atributos físico-

hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-Grossense. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, 3: 498-512. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/viewFile/17844/11234>.

Acesso em 28 de novembro de 2014.

Ceccon, G. & L.A. Staut. 2007. 9º Seminário Nacional de Milho Safrinha: rumo a estabilidade, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37992/1/DOC200789.pdf>. Acesso em 28 de novembro de 2014.

CONAB. 2014. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2013/2014. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_14_35_09_boletim_graos_setembro_2014.pdf>. Acesso em: 10 de novembro de 2014.

Corsini, P.C. & A.S. Ferraud. 1999. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 34: 289-298. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/pab/v34n2/8738.pdf>. Acesso em 10 de agosto de 2014.

Costa, M.J., E.J. Rosa Junior, Y.B.C.J. Rosa, L. C.F. Souza & C.B.J. Rosa. 2007. Atributos físicos de um Latossolo sendo influenciado pelo manejo do solo e efeito da gessagem. Acta Scientiarum Agronomy, v. 29, p. 701-708. Acesso em: 12 de Janeiro de 2015. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180786212007000500017&script=sci_arttext.

Couto, W., D.J. Lathwell & D.R. Boudin. 1979. Sulfate sorption by two oxisols and a alfissol of the tropics. Soil Science, 127: 108-116.

Dontsova, K.M. & L.D. Norton. 2002. Clay dispersion, infiltration and erosion as influenced by exchangeable Ca and Mg. Soil Science Society of America Journal, 167: 184-193. Disponível em:

http://journals.lww.com/soilsci/Abstract/2002/03000/CLAY_DISPERSION,_INFILTRATION,_AND_EROSION_A_S.3.aspx. Acesso em 15 de Agosto de 2014.

EMBRAPA. 2009. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 212 pp.

EMBRAPA. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 353 pp.

Goedert, W.J. 1987. Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo. Embrapa Cerrados, Planaltina, 442 pp.

Gupta, S.C. & R.R. Allmaras. 1987. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. Advances in Soil Sciences, Madison, 6: 65-100.

Hati, K.M., A. Swarup, B. Mishra, M.C. Manna, R.H. Wanjari, K.G. Mandal & A.K. Misra. 2008. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of na Alfisol. Geoderma, 148: 173-179. Disponível em:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00167>

06108002632. Acesso em 05 de outubro de 2014.

Hillel, D. 1970. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 231 pp.

Kiehl, E.J. 1979. Manual de edafologia. Relações solo-planta. Ceres, São Paulo, 262 pp.

Klein, V.A. & P.L. Libardi. 2002. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26: 857-867. Disponível em: <http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n4a03.pdf>. Acesso em 06 de agosto de 2014.

Lopes, A.S. 1994. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária.** ANDA, boletim técnico nº5, 2ª edição, São Paulo, 62p. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015. Disponível em: http://www.anda.org.br/multimidia/boletim_05.pdf.

Misra, R., A. Dexter & A. Alston. 1986. Penetration of soil aggregates of finite size. II. Plant roots. Plant Soil, 94:59- 85. Disponível em:

http://download.springer.com/static/pdf/673/art%253A10.1007%252FBF02380589.pdf?auth66=1424873061_26812fa5d91eaac9eeaaad3a02aa2c9&ext=.pdf. Acesso em 10 de outubro de 2014.

Morelli, M. & E.B. Ferreira. 1987. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 11: 1-6.

Müller, M.M.L., C.A. Tormena, A.M. Genú, L.F.M. Kramer, L. Michalovicz, & E.F. Caires. 2012. Structural Quality of a No-Tillage Red Latosol 50 Months After Gypsum Application. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36: 1005-1013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832012000300030&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em maio de 2014.

Othmer, H., B. Diekkrüger & M. Kutilek. 1991. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. Soil Science, 152: 139-150. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/Australian_Journal_of_Experimental_Agriculture_232215380_Bimodal_Porosity_and_Unsaturated_Hydraulic_Conductivity. Acesso em 10 de novembro de 2014.

Parks, G.A. & P.L. Bruyn. 1962. The zero point of charge of Oxides. Journal of Physical Science, 66: 967-973. Disponível em: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/j100812a002>. Acesso em 10 de agosto de 2014.

Pauletti, V., L. Pierri, T. Ranzan, G. Barth & A.C.V. Motta. 2014. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38:495-505. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006832014000200014_&script=sci_arttext. Acesso em: 01 de fevereiro de 2015.

Pavan, M.A. F.T. Bingham & P.F. Pratt. 1984. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. Soil Science Society of America Journal, Madison, 48: 33-38. Disponível em: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/48/1/S0480010033>. Acesso em 10 de julho de 2014.

Pessoni, P.T. 2012. Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical),

Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP. 93 pp. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/dissertacoes/pb1212210%20Patricia%20Terezinha%20Pessoni.pdf>. Acesso em 01 de agosto de 2014.

Raij, B. V. 2008. Gesso na agricultura. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 233 p.

Reeve, N.G. & M.E. Sumner. 1972. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface-applied amendments. *Agrochimophysics*, 4: 1-6.

Reinert, D.J. & J.M. Reichert. 2006. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 18 pp.

Ribeiro, K.D., S.M. Menezes, M. Da G.B. De F. Mesquita & F. De M.T. Sampaio. 2007. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31: 1167-1175. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141370542007000400033. Acesso em 28 de julho de 2014.

Ridley, A.M., W.J. Slattery, Helyer & K.R. Cowling, A. 1990. The importance of the carbon cycle to acidification of a grazed annual pasture. 30: 529-537. Disponível em: <http://www.publish.csiro.au/?paper=EA9900529>. Acesso em 15 de outubro de 2014.

Rosa Junior, E.J. 1991. Relação solo-organismos-plantas: parte I. Campo Grande: Imprensa Universitária.

Rosa Junior, E.J. A.C.T Vitorino & P.F.P.G. Vitorino. 1994. Efeito da calagem, gessagem e adubação fosfatada sobre algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico de Dourados-MS. *Revista de Ciências Agrárias*, 1: 5-12.

Rosa Junior, E.J., C. Cremon, R.M.G. Martins & E.T. Rodrigues. 2001. Gesso e calcário como condicionadores de atributos de um Latossolo sob cultivo de soja-milho. *Cerrados: Revista Ciência Agrária, Campo Grande: UFMS*, 24(3/8): 45-50.

Rosa Junior, E.J., R.M.G. Martins, Y.B.C.J. Rosa & C. Cremon. 2006. Calcário e gesso como condicionante físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36: 37-44. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/viewArticle/2170>. Acesso em 15 de julho de 2014.

Santos, G.G., R.L. Marchão, E.M. Silva, J.C.A. Nóbrega & C.A.L. Neto. 2013. Distribuição de poros e sua relação com atributos físico-hídricos em solos de cerrado e cerrado/caatinga. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Florianópolis. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/976269/1/33791.pdf>. Acesso em: Agosto/2014.

Serafim, M.E., J.M. Lima, V.M.P. Lima, W.M. Zeviani & P.T. Pessoni. 2012. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. *Bragantia*, 71: 75-81.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000687052012000100012. Acesso em: Agosto/2014.

Silva, F. De A.S. & C.A.V. Azevedo. 2006. A new version of the assistat-statistical assistance software. In: *World Congress on Computers in Agriculture*, 4, Orlando. Anais... Orlando: American Society of Agricultural Engineers. p. 393-396.

Silva, A.P. & B.D. Kay. 1997. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society America Journal*, 61: 877-883. Disponível

em: <https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/61/3/SS0610030877?access=0&view=pdf>. Acesso em 06 de agosto de 2014.

Silva, A.P., P.L. Libardi & D.A. Camargo. 1986. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10: 91-95.

Silveira Neto, A.N., P.M. Silveira, L.F. Stone & L.F.C. Oliveira. 2006. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36: 29-35. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/PAT36%281%29IDWY5s22pRXp.pdf>. Acesso em 21 de julho de 2014.

Silveira, P.M., L.F. Stone, J.A. Júnior & J.G. Silva. 2008. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. *Bioscience Journal*, 24: 53-59. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6787/4481>. Acesso em 05 de outubro de 2014.

Sousa, D.M.G. & E. Lobato. 2004. Cerrado: correção do solo e adubação, 2ª ed. Embrapa Cerrados, Brasília, Brasil.

Souza, F.R., E.J. Rosa Junior, C.R. Fietz, A.C. Bergamin, Y.B.C.J. Rosa & W.M. Zeviani. 2012. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:1717-1732.

Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/7814/11551>. Acesso em 11 de outubro de 2014.

Vomocil, J.A. & W.J. Flocker. 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil and water. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 4: 242-246. Disponível em: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=41066&t=2&edir=&redirType> Acesso em 10 de Agosto de 2014.

Wendling, B., I.C. Vinhal-Freitas, R.C. De. Oliveira, M.M. Babata & E.N. Borges. 2012. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. *Bioscience Journal*, 28: 256-265. Disponível em:

<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/13277/8371>. Acesso em 03 de julho de 2014.